

Biotechnik

Von FRITZ HÜBER

INHALT	Seite
Einleitung	30
<i>Technik der Pflanzen und Tiere</i>	
Bautechnik – Statik – Architektur	31
Flugtechnik	34
Tauch- und Schwimmtechnik	35
Technik der Orientierung	36
Anderweitige Techniken	39
<i>Biotechnische Systeme</i>	
Bioenergetik	40
Biokybernetik	42
Evolutionsstrategie	44
Gentechnologie	46
<i>Mensch und Technik</i>	
Entwicklung und Konstruktion	48
Zusammenfassung und Schlußfolgerung	49
Literatur	51

Einleitung

Während des zweiten Weltkrieges (1943) verstarb in Budapest der österreichische Biologe RAOUL HEINRICH FRANCÉ. Seine Werke, die von der Botanik, Zoologie und Mikrobenforschung bis zur Kultur und Lebensphilosophie reichen, hatten millionenfache Verbreitung gefunden. Er war außerdem ein leidenschaftlicher Umweltschützer. Immer warnte er von der Überschreitung der Gleichgewichtsgrenze in der Natur, denn diese räche sich. So ist es nicht verwunderlich, daß er sich mit den Auswirkungen der modernen Technik eingehend befaßte und dabei der Frage nachging, wie denn die Natur mit technischen Problemen fertig werde.

Er wurde so zum Begründer der heute so hochaktuellen Biotechnik. Die entsprechende Veröffentlichung erschien 1919 unter dem Titel: „Die technischen Leistungen der Pflanzen“. Im Jahre 1920 kam dann dieses Werk in gestraffter Form als Kosmosbändchen unter dem Titel: „Die Pflanzen als Erfinder“ heraus. Er legte damals einer staunenden Leserschaft die Beziehungen zwischen den technischen Konstruktionen der Natur und den Erfindungen des Menschen dar und machte den von ihm geprägten Begriff „Biotechnik“ einer breiten Öffentlichkeit zugänglich. Dort heißt es unter anderem:

„Ein Ingenieur, der Botanik studiert und ihre Erkenntnisse und Versuche in erfinderisches Denken umsetzt, hat die größte Aussicht ein Wohltäter der Menschheit und nebenbei ein reicher Mann zu werden.“

In Jahre 1929 sah sich FRANCÉ, der wiederholt die Einführungen des Studiums der Biotechnik als Hochschulfach gefordert hat, zu der Befürchtung veranlaßt, daß es verhängnisvoll wäre, wenn sich Deutschland, wo die Biotechnik entstand, von anderen überflügeln ließe. Anzeichen seien bereits vorhanden. Er sollte recht behalten. Biotechnik als Lehrfach war an deutschen Hochschulen und Universitäten praktisch nicht vertreten. Dagegen entstand nach dem zweiten Weltkrieg in den USA, in Japan und in den Ostblockländern unter dem Namen „Bionik“ (Kurzform aus Biologie und Technik) eine Wissenschaft, die sich zur Aufgabe machte, technische Probleme durch Untersuchung biologischer Vorgänge zu lösen, also genau das, was FRANCÉ wollte. Erfreulich ist, daß auch die EG-Kommission auf die Zukunftsaussichten der Biotechnologie hingewiesen und zu einer europäischen Aktion aufgerufen hat.

Mit dieser Biotechnik oder Bionik wollen wir uns im folgenden befassen.

Es soll dabei versucht werden, an ausgewählten Beispielen aus der Pflanzen- und Tierwelt und aus dem allgemeinen Naturgeschehen einen kleinen Einblick in dieses interessante und ungeheuer umfangreiche Wissensgebiet zu geben. Dabei geht es vor allem darum, wie die Technik der Natur auf Probleme der vom Menschen geschaffenen Technik anregend wirken bzw. übertragen werden kann. Allerdings muß dabei auf fachliche Details, wie Formeln, Berechnungen u.dgl. verzichtet werden. Sie können nebst weiterführenden Hinweisen aus der Fachliteratur entnommen werden.

Bautechnik, Statik, Architektur

Wenn in einem Getreidefeld die prallgefüllten Ähren im Winde hin und her wogen oder der Sturm durch das Schilf des Seeufers braust, wird der vorübergehende Wanderer kaum darüber nachdenken, warum die Halme nicht umfallen oder abknicken. Er wird auch kaum beachten, daß so ein Halm im Einzelfall fünfhundertmal höher als breit sein kann. Könnte der Mensch die gleiche Bautechnik anwenden, wie sie hier die Natur vollzieht, dann bräuchte z.B. die Basis der Kölner Domtürme entsprechend ihrer Höhe nur je ein Drittelmeter betragen. Wir können zwar heute röhrenförmige Stahlbetontürme errichten, das Optimum der Natur ist aber damit noch lange nicht erreicht.

Die Pflanze benützt bei ihren *Röhrenkonstruktionen*, je nach Art der Verwendung, die verschiedensten Versteifungs- und Verfestigungselemente, wie z.B. Längsverstrebungen in Form von Rillen, Kanten, Lisenen; Querverstrebungen in Form von Ringen, Knoten und schließlich gitterförmige und spiralförmige Verstrebungen (Schraubenalgen). Letztere Technik geht soweit, daß sie reißfeste Seile und Kabel entwickeln kann, die innen hohl sind (Lianengewächse), was man in der Ingenieurtechnik nicht kannte. Erst in jüngster Zeit ist man daran gegangen z.B. Telefonhohlkabel zu entwickeln.

Wenn man heute Betonsäulen errichtet, so verwendet man dazu *Moniereisen*. Aus Baustahl werden *Armierungskörbe* geflochten und in den Beton eingegossen. Ein Prinzip, das die Pflanze schon seit über 250 Millionen Jahren kennt. Besonders schön sichtbar sind die „Armierungskörbe“ pflanzlicher Art bei toten Säulenkakteen, bei denen das sonstige Gewebe verwittert ist.

Bei *Binsen* entspricht die Zellenanordnung der Strebenkonstruktion bei Stahlbaugerüsten.

Wenn man die Mauern alter Städte und Burgen betrachtet, so bemerkt man mächtige *Mauerpfeiler*. Diese wurden nicht deshalb gebaut, weil man fürchtete die Mauer könnte einstürzen, sondern weil man daraufgekommen ist, daß man die Widerstandskraft einer dicken Mauer auch dadurch erreichen kann, daß man an eine dünne Mauer solche Pfeiler ansetzt. Man erspart dadurch Material. Nach dem gleichen Prinzip arbeitet auch die Pflanze. Bei der *Kieselalge* z.B. sind die überflüssigen Füllungen herausgenommen. Ihre Schalen sind mit feinsten Verdickungsleisten zierlich besetzt und verleihen ihr das schmuckstückhafte Aussehen und den notwendigen Widerstand gegen äußere Kräfte. Solche Konstruktionen werden auch in der Architektur angewendet, so z.B. vom Erbauer der riesigen Glaskuppel des Pariser Kaufhauses „Printemps“ in St. Louis (Ohio). Es gäbe noch viele solche Beispiele.

Eine andere Art von Stabilität entwickeln tropische Pflanzen mit ungeheuer großen Blättern. Solche Blätter müssen nicht nur sehr leicht, sondern auch bruchfest sein. Das geschieht durch zickzackförmige Faltung. Jedermann kennt aus botanischen Gärten die riesigen tellerförmigen Blätter der Riesenseerose (*Victoria regia*), der Königin der Nacht. Sie haben eine Tragkraft, daß man ein Kleinkind daraufsetzen kann. Das verdanken sie der *Wabenkonstruktion* auf ihrer Unterseite. Der englische Architekt Sir PAXTON baute im vorigen Jahrhundert den Londoner

Glaspalast nach dem Vorbild der radialen Verrippung dieser Seerosenblätter. Überhaupt zieht die Architektur den meisten Nutzen aus der Biotechnik. FREI OTTO gründete bereits 1961 mit 2 Kollegen in Berlin eine interdisziplinäre Forschungsgruppe, die sich mit Analogien zwischen Biologie und Architektur beschäftigt.

Das Netz von *Spinnen* und Raupen wird gestrafft und zusammengehalten von dünnen und elastischen Fäden. Auch dieses Prinzip kehrt in der modernen Architektur wieder wie z. B. bei JÖRG GRIBS Voliere des Münchner Tierparks oder bei dem von FREI OTTO und GÜNTER BENISCH geschaffenen Dach über dem Münchner Olympiastadion.

Die Bautechnik der Tiere ist eben nicht weniger ausgeprägt und raffiniert, wie die der Pflanzen. Der große Biologe und Nobelpreisträger MAX v. FRISCH hat der Bautechnik der Tiere ein ganzes Werk gewidmet („*Tiere als Baumeister*“).

Daß viele Insekten, vor allem die staatenbildenden, im Bauen sehr geschickt sind, ist bekannt. Man braucht nur an die Wabenbauten der *Bienen*, an deren Form und Statik denken. Die sechseckige Zelle der Wabe stellt nicht nur ein Optimum an Raum dar, sondern auch an Statik und Wärmedämmung. Eine Honigwabe von 37 x 22,5 cm kann mehr als 2 Kilo Honig aufnehmen. Zu ihrer Herstellung verarbeitet die Biene aber nur 40 Gramm Wachs.

Die wirklich ganz großen Architekten unter den Insekten sind die verschiedenen Arten von *Termiten*. Sie führen Bauten bis zu 7 m Höhe aus. Gänge und Kammern können aber noch tief in den Boden hineinreichen. Der Termitenforscher K. ESCHERICH stellte fest, daß sich im Zentrum des oberen Raumes die *Zelle des Königspaares* befindet. Es wird dort von Scharen kleiner Arbeiter versorgt, die durch kleine Öffnungen der Zelle aus- und eingehen können. Sie nehmen die Eier schon beim Austritt aus dem Mutterleib der Königin in Empfang und bringen sie in die *Brutkammern*, wo sie und die jungen Larven gepflegt werden. Weiter außen liegen die *Vorratskammern*. Hier befindet sich zerkleinertes Laub und Holz, das mit Kot vermischt zu Kompost verarbeitet wird. Hierauf wird das Geflecht eines Pilzes gezüchtet. Dieser vermag das Lignin des Holzes und anderer Pflanzenbestandteile in leichtverdauliche Verbindungen abzubauen. Die jungen Larven halten sich dort auf und finden köstliche Kost. Nach außen wird der Bau mit einer kompakten Schutzschicht abgeschlossen. Einige Arten in regenreichen Urwäldern bauen vorspringende Schutzdächer an, so daß der Bau einer chinesischen Pagode ähnelt.

Die sog. *Kompaßtermiten* in den Steppen Australiens bauen ganz schmale aber 5 m hohe und 3 m breite Bauwerke, die mit ihren Schmalseiten so genau in die Nordsüdrichtung zeigen, daß sich der Reisende danach orientieren kann. Wie sie diese Richtung ermitteln, ist noch ungeklärt. Von anderen Arten weiß man, daß sie sich nach dem Magnetfeld der Erde zu richten vermögen.

Noch viel größere Rätsel gibt aber die *Innenarchitektur* auf, denn mit dem Bau der verschiedenen Kammern ist es nicht getan. In einem mittleren Termitenbau leben mehr als 2 Millionen Tiere. Sie müßten innerhalb von 12 Stunden ersticken, wenn keine Lüftererneuerung stattfinden würde. Fenster gibt es nicht. Genauere Nachforschungen haben aber eine gutfunktionierende *automatische Klimaanlage* entdeckt. Die Königszelle mit Kammern und Gängen ist von

schmalen Luftkammern umgeben. Der Zentralbau sitzt auf einem luftgefüllten Keller und zwar auf konischen Säulen und seitlichen Streben. Über dem Zentralbau befindet sich ein zweiter großer Luftraum, der wie ein Kamin in das zentrale Nest hineinreicht. Sowohl vom Keller wie vom oberen Luftraum führt ein fast armdicker Luftkanal radial an seitlich am Bau herablaufenden Rippen, wo er sich in weitere Kanäle teilt. Die Rippen sind porös.

Die ganze Anlage funktioniert automatisch. Durch Gärungsvorgänge in der Pilzkammer erwärmt sich die Luft. Sie steigt dann nach oben in das Kanalsystem der Rippen, durch deren Poren ein Gasaustausch stattfindet, in dem Kohlendioxyd entweicht und Sauerstoff eindringt. Dabei wird die Luft gekühlt und fließt durch die unteren Kanäle in den Keller und von dort wieder in das Nest zurück als Ersatz für die aufsteigende Warmluft.

Zum Bauen verwenden die Termiten den eigenen mit Sand und Erde vermengten Kot. Dieser erhärtet sofort. Sie bauen nicht nur gerade Wände, sondern auch Brücken und Galerien. Dabei ist ihr Gehirn weniger entwickelt, wie z.B. das der Bienen, Wespen und Ameisen.

Unter den Wirbeltieren sind es besonders die *Vögel*, die beim Nestbau Techniken verwenden, die auch der Mensch kennt, bzw. von ihnen übernommen hat. So finden wir dort die *Technik des Flechtens, Webens, Knüpfens, des Schneiderns und Töpfern*s. Als einzelnes Beispiel sei die Beutelmeise erwähnt. Sie stellt durch flechten und knüpfen ein Nest her, das derart filzig und haltbar ist, daß in der Heimat dieser Vögel diese Nester von den Kindern als Filzschuhe getragen werden.

Interessant ist auch der Bau eines *regulierbaren Brutschrankes* bei den Großfußhühnern oder Wallnistern (Megapodinae), deren Heimat Australien oder Ozeanien ist. Der Hahn sucht einen Brutplatz aus, sammelt Laub zusammen und tritt es ein, bis ein etwa 1,5 m hoher Hügel entsteht. Die Henne kommt erst, wenn im Innern des Haufens eine Wärme von 35° herrscht. Der Hahn kontrolliert täglich die Temperatur indem er sich in den Haufen eingräbt, Erde in den Schnabel nimmt und sie dann wieder wegschleudert. Man nimmt an, daß er im Schnabel ein besonderes Temperatursinnesorgan besitzt. Ist es zu warm, läßt er Luftlöcher offen, ist es zu kalt, wird das Loch geschlossen und weiteres gärungsfähiges Material hinzugefügt. Die Henne wird erst herbeigelockt, wenn der Kompost die richtige Temperatur hat. Sie legt dann ihr Ei in eine tiefausgescharfte Mulde. Ihm entschlüpft das Junge vollständig befiedert und so selbständig, daß es fähig ist, sich ohne Hilfe der Eltern zu erhalten.

Unter den *Säugetieren* sind die größten Baumeister die *Biber*. Wenn sie das Wasser stauen wollen, rammen sie mit ziemlicher Gewalt Holzprügel in den Boden des Wasserlaufes, stecken Zweige zwischeneinander, belasten sie mit Prügeln, Stämmen und Steinen, dichten sie mit Schlamm und Erde ab und stützen sie mit Astgabeln gegen die Strömung. In dieser Weise entstehen Dämme in Höhe von 2–3 Metern. In Nordamerika wurden solche Dämme von 150–200 m Länge und einer Dicke von 4–6 m am Grunde und bis 2 m oben festgestellt. Diese Dämme werden von den Bibern gemeinschaftlich gepflegt und unterhalten. Sie halten auch in den von Ihnen geschaffenen künstlichen Teichen den Wasserstand stabil, was deshalb notwendig ist, weil sie an den Ufern ihre Bauten haben, deren Zugangsröhren unter Wasser münden. Wird der Wasserstand zu hoch, vertiefen sie die Überläufe, wird er zu niedrig erhöhen sie den Damm.

Der modernen Biotechnik geht es nicht nur darum, die oft phantastische Baukunst und Architektur der Pflanzen und Tiere zu studieren, sondern auch das Schaffen der Natur an diesen Lebewesen kennenzulernen.

Die Natur konstruiert immer zweckgebunden. Als Musterbeispiel soll die *Architektur des Knochenskeletts*, hier des Oberschenkelknochens des Menschen dienen. Es geht dabei darum, die Kräfte die durch verschiedene Belastungen (Gehen, Laufen, Springen udgl.) entstehen, abzufangen. Dies geschieht durch die besondere Konstruktion der Knochenbälkchen, der sog. *Spongiosa*. W. NACHTIGALL erinnert an den Schweizer Ingenieur Prof. CARL CULMANN (1821–1881), dem Schöpfer der graphischen Statik. Dieser war damit beschäftigt, einen *Hochleistungskran* zu konstruieren. Er besuchte zufällig seinen guten Bekannten, den Anatom H. VON MEYR, als dieser in einer Vorlesung am Beispiel des Oberschenkels den Bau des Knochens darlegte. Sofort sah der Ingenieur, daß die Spongiosa-Architektur als System zweier rechtwinklig sich schneidender Hauptzüge ein verknochertes *Spannungstrajektorienfeld* darstellte. Begeistert rief er: „Das ist mein Kran!“ Dazu darf noch bemerkt werden, daß die statische Aufgabe der Spongiosa nicht nur mit geringsten Materialaufwand gelöst wird, sondern daß sich das Knochenbälkchen bei Veränderung der Belastungsverhältnisse unter Änderung seiner Richtung im Laufe der Zeit anpassen kann.

Nach Dr. B. LÖRSCH (Leiter des Institutes für Umweltwissenschaften und Naturschutz der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Wien) „fanden die Meister der Gotik zu ihren kühnen Konstruktionen, indem sie eine *Kraftlinienarchitektur* aus organischen Skelettformen entwickelten, wie wir sie für ähnliche Funktionen in der Natur vorfinden. Beispielsweise zeigt der Anschlag des menschlichen Oberschenkelknochens (der Femur Spongiosa) die Spitzbogenarchitektur eines gotischen Kirchenschiffes.“ (Kosmos 1980, Heft 12, S. 901).

Flugtechnik

Daß Pflanzen, die ihre Samen durch den Wind verbreiten lassen, die verschiedensten Flugkonstruktionen benützen, ist bekannt. Erinnert sei nur an den ausgereiften Fruchtstand des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*), wo der Same an einem mit Luft gefüllten Haarschirm hängt, der wie ein *Fallschirm* vom Wind fortgetragen wird.

Andere Samen und Früchte sind wiederum mit Tragflügeln, Schraubenblättern udgl. ausgestattet, die je nach ihrer Konstruktion zu unterschiedlichsten Sinkbewegungen führen. Es gibt aber auch einen Pflanzensamen, der in der Luft richtig *gleiten und schweben* kann, ähnlich einem Segelflugzeug. Es ist der Same der *Zanonia macrocarpa*, ein Kürbisgewächs, das als Parasit auf den Wipfeln von Urwaldbäumen des Malaiischen Archipels lebt. Der Same sitzt in einem „Nurflügler“, ein einziger gewölbter Flügel in flacher Bumerangform, in dessen Schwerpunkt sich das Nüßchen befindet. Ein flugbegeisterter Mann namens IGO ETRICH baute genau nach dem Vorbild des Zanoniasamens einen *Gleitflieger*. Er ließ ihn, beschwert mit einem 70 kg schweren Sandsack auf einem Wägelchen einem Abhang hinabsausen. Bei einer Geschwindigkeit von 13 m/sec hob er ab und schwebte 100 m weit. Der Flug wurde dann bemant mit Erfolg wiederholt. Ein Modell dieses Gleitfliegers ist in der Luftfahrtabteilung des Deutschen Museums in München zu sehen.

Die Technik des Gleitfliegens ist natürlich im Tierreich viel ausgeprägter. Unter den Wirbeltieren sind es, angefangen von den fliegenden Fischen, den Flugfröschen, Flughunden, Flughörnchen, Flugdrachen usw. vor allem die Vögel, die als große Segler in der Lage sind, thermische Strömungen voll auszunutzen. Diese Technik war auch für den Bau von *Segelflugzeugen* maßgebend.

Dem Wunschtraum der Menschheit aber, wie ein Vogel fliegen zu können, galten schon seit dem Mittelalter Entwürfe und Versuche phantasiebegabter Männer, angefangen von LEONARDO DA VINCI (1482–1519) bis zu I. BERBLINGER, dem „Schneider von Ulm“, der mit seinem Flugapparat 1811 in die Donau stürzte. Erst OTTO LILIENTHAL (1848–1896) befaßte sich eingehend mit der Vogelflugforschung. Seine Messungen und Berechnungen bildeten noch 20 Jahre nach seinem Tod die Grundlage für Flugzeugkonstruktionen.

Nicht unerwähnt soll bleiben, daß auch der *Hubschrauber* ein Vorbild in der Vogelwelt hat, nämlich im Schwirrflug des Kolibri. Dieser winzige Vogel kann wie der Hubschrauber in der Luft stehen und sich auch rückwärts bewegen. Beim Hubschrauber besorgt das eine waagrechte Luftschraube, beim Kolibri das Vor- und Rückwärtsschwingen seiner Flügel. Eine freie Rotation um eine Achse, wie es in der Maschinenteknik üblich ist, ist in der belebten Natur nicht möglich.

Tauch- und Schwimmtechnik

Wenn von *Unterseebooten* die Rede ist, denkt man kaum daran, daß ihre Technik des Tauchens bzw. des Schwebens unter Wasser nach den gleichen Prinzipien erfolgt wie der Schwebevorgang der Fische. Was beim Fisch die Schwimmblase, ist beim Unterseeboot der Ballasttank. Der Fisch regelt den Schwebevorgang durch Veränderung des Gasvolumens in der Schwimmblase, das Unterseeboot durch Veränderung der Wassermenge in den Ballasttanks.

Auch die *Taucherglocke* gibt es im Tierreich. Die Wasserspinne (*Argyroneta aquatica*) taucht zeit lebens. Sie legt ihre Behausung inmitten von Wasserpflanzen an, wobei sie ein dachartiges Spinnweb in Form einer Glocke herstellt, die sie mit Luftperlen füllt und von der aus sie auf Beute lauert und dort auch ihre Eier ablegt.

In diesem Zusammenhang sei auf die Entwicklung eines halbdurchlässigen Silikon-Kautschuks durch die Firma General-Elektrik (USA) hingewiesen, die es einem Menschen ermöglichen soll, unter Wasser ohne Beatmungsgerät auszukommen. In einem Käfig aus einer solchen Silikonfolie, die als Membrane – ähnlich einer Kieme – wirkt, soll ein Mensch ohne Sauerstoff atmen können. Der Gasaustausch mit dem umgebenden Wasser erfolgt durch die Poren der Membrane.

Was das *Schwimmen* anbetrifft, so ist der *Delphin* ein Musterbeispiel für die Biotechnik. Er gehört zu den besten Schwimmern des Tierreichs. Das beruht nicht nur auf seiner Stromlinienform und der Schlagwirkung von Schwanz, Körper und Flosse, sondern auf der Besonderheit seiner *Haut*.

Die Oberhaut umfaßt ein lockeres schwammartiges Gewebe, das überwiegend aus Wasser besteht. Dieses Wasser ist aber nicht in Zellen eingeschlossen, sondern füllt die *Spalträume* des

Zellnetztes (ähnlich wie das Wasser eines Badeschwammes). Die Unterhaut bildet an der Grenze zur Oberhaut gleichlaufende Leisten aus, von denen sich zahlreiche Zapfen bis zur Oberhaut erheben. Sie bilden einen stützenden und trotzdem elastischen Raster innerhalb der schwammigen Oberhaut, die ganz außen von einer Membrane abgeschlossen ist. Wird auf die Oberhaut ein Druck ausgeübt, so verschiebt sich unter der Druckdelle das Wasser in der Oberhaut nach allen Seiten. Läßt der Druck nach, geht die Delle wieder zurück. Durch dieses *viskoelastische Verhalten* werden Schwingungen abgedämpft, die sich dann nicht aufschaukeln können.

Dieses System hat man technisch nachgeahmt. Man verwendet es zum Bau elastischer Bordwände. Versuche haben dabei ergeben, daß der Gesamtwiderstand eines mit einer solchen künstlichen Delphinhaut überzogenen Projektils ganz gewaltig zurückging, bei einem Motorboot z.B. auf das Zweieinhalbfache.

Bei den *Fischen* wird der Reibungswiderstand im Wasser durch *Schleimabsonderungen* ihrer Haut erheblich herabgesetzt. Man hat nun für die Feuerwehr ein diesem Fischschleim ähnliches Produkt entwickelt, das dem Löschwasser beigesetzt werden kann. Es wird dadurch der Reibungswiderstand in den Feuerwehrschräuchen vermindert und dementsprechend eine Steigerung der Spritzhöhe und Spritzweite erreicht.

Quallen und *Tintenfische*, wie auch Libellenlarven bewegen sich nach dem Prinzip des Rückstoßes vorwärts, indem sie im Körper aufgenommenes Wasser kräftig herauspressen. Sie sind damit die ersten Vorbilder der *Raketentechnik*, wenn auch im Luftraum diese Art der Bewegung bei der geringen Dichte der Luft erst möglich wurde, als der Düsenantrieb erfunden worden war.

Technik der Orientierung

Es wird gesagt, die *Fledermaus* habe das Radar erfunden. Genaugenommen handelt es sich um hochfrequente Schallimpulse, die sie als Orientierungssystem, ähnlich einem Echolot benützt. Man spricht vom „*biologischen Sonar*“ (Ultraschall). Die Orientierung besteht darin, daß die Fledermaus, die ja ein Nachttier ist, mit ihrem Mäulchen einen speziellen akustischen und nach vorne gerichteten Ortungslaut ausstößt, der von den Gegenständen reflektiert und als Echo von den großen Ohren wie von einer Schirmantenne aufgenommen wird. Die Frequenz dieser Ultraschallimpulse liegt zwischen 30 000 und 100 000 Hertz. Sie können deshalb vom Menschlichen Ohr (Aufnahmefähigkeit 16 – 20 000 Hertz) nicht aufgenommen werden. Ähnliche Einrichtungen besitzen auch Nilflughunde, Dephine, Spitzmäuse, Heuschrecken u.a.m.

Auffällig ist der Orientierungssinn der *Schleiereule*. In ihrem von einem Federkranz umgebenen runden Gesicht liegen unter dem Gefieder verborgen und weit auseinander zwei Ohren, die gegenseitig versetzt sind, d.h. ein Ohr liegt höher am Kopf als das andere. Geräusche – soweit sie eine Frequenz von über 3000 Hertz haben – treffen in den beiden Ohren mit einem winzigen nur Millionstelsekunden großer Zeitunterschiede ein, der ausreicht, die Koordinaten des Punktes zu bestimmen, an dem sich die Beute befindet.

Bei *Fischen* kennt man Schwach- und Starkstromfische (Zitteraal, Zitterwels, Zitterrochen udgl.) Sie sind in der Lage, sich in ihrer Umwelt, selbst bei Nacht elektrisch zu orientieren und können kleinste Gegenstände in dunklen und trüben Gewässern auch dann noch ausmachen, wenn ihre Augen nichts mehr bemerken können.

Die Fähigkeit der *Biene* sich bei ihrer Futtersuche zu orientieren, ist weitgehend aufgeklärt. Der Winkel zwischen der Flugrichtung (in Körperlängsachse) und einer gedachten Geraden vom Kopf zur Sonne, gemessen mit ihren Facettenaugen, ist sozusagen die Kompaßzahl. Da sich der Sonnenstand aber ständig ändert, ist auch eine *Zeitmessung* notwendig. Sie trägt deshalb eine Art von innerer Uhr in sich, deren Funktion noch nicht hinreichend geklärt ist. Die *Entfernung* stellt sie durch den „*Kraftstoffverbrauch*“ (Zucker) fest. In welcher Richtung und Entfernung vom Stock gute Futterplätze liegen, teilt sie ihren Artgenossen durch den bekannten *Schwänzeltanz* mit. Sie durchläuft dabei eine Figur, die einer liegenden Acht gleicht. Die beiden Achterschleifen sind mehr ellipsenförmige Gebilde, die mit ihrer Breitseite nebeneinander liegen. Die *Richtung* zur Futterstelle wird durch die Gerade angegeben, die zwischen den beiden Achterschleifen hindurchgeht, die Entfernung aber durch das Tanztempo. Kürzere Entfernungen zeigt sie durch einen Rundtanz an.

Auch *Vögel* navigieren mit einer „inneren Uhr“, d.h. mit einer biologischen Zeitmessung. Experimente haben ergeben, daß Zugvögel angeborene und adressierte Kompaßrichtungen mit Hilfe der Sonne und einer endogenen tagesperiodischen „Uhr“ bestimmen können. Wie die Orientierungsreize auf die Sinnesorgane übertragen werden ist sehr unterschiedlich, vielfältig und kompliziert. Es muß auf die Fachliteratur verwiesen werden.

Das Studium der Orientierungstechnik der Tiere ist eng verbunden mit dem Studium der *Sinnesleistungen* der Tiere und dieses führte wiederum zu großen biotechnischen Erfolgen. Dazu einige Beispiele:

Die Erforschung des Geruchssinnes verschiedener Insekten hatte die Schaffung von Schädlingsbekämpfungsmitteln zur Folge.

Viele Tiere haben einen *Temperatursinn*, der dem des Menschen weit überlegen ist. Klapperschlangen z.B. besitzen Rezeptoren für Wärmestrahlen (sog. Grubenorgane). Mit diesen Strahlen (Infrarot) können die nächtlich jagenden Schlangen ihre Beute im Dunkeln schon auf Grund von deren Temperaturunterschieden gegenüber der Umgebung lokalisieren.

Der *Lichtsinn* ist bei Tieren sehr mannigfaltig. Das Studium der besonderen Art des Sehvermögens des Frosches liefert z.B. Erkenntnisse auf deren Grundlage mit Hilfe von Photozellen und künstlichen Nervenzellen Apparate entwickelt werden konnten, die auf bestimmte Muster, Objekte einer bestimmten Größe udgl. ansprechen und somit als Zählmaschinen dienen können.

Insektenaugen setzen sich aus bis zu 30 000 Einzelfacetten zusammen. Eine Facette z.B. im Auge einer Bremse ist ein Einzelauge mit einer winzigen Linse und jedes dieser Augen hat einen anderen Blickwinkel. Dadurch ergibt sich ein sehr weites Gesichtsfeld ohne daß ein Auge oder der Kopf bewegt werden muß. Insektenaugen können pro Sekunde über 200 Lichtblitze aufnehmen. Vergleichbares bieten in der modernen Technik die *Multidetektorarrays*.

Hier liegen die „Einzelaugen“ in Form von Sensorchips dicht aneinander. Sie können in Rasterbildern Objekte erkennen und Lichtquellen orten.

Besondere Beachtung findet in der biologischen Forschung *der Tast- und Vibrationssinn*, Küchenschaben könne z.B. noch Bodenerschütterungen von weniger als einem Milliardstel Zentimeter wahrnehmen. Bei blinden Menschen gelang es den Vibrationssinn für das Lesen von gewöhnlicher Schrift nutzbar zu machen.

Auch für die *Erdbebenforschung* ist dieser Sinn interessant geworden, da es Tiere gibt, deren Vibrationssinn so empfindlich ist, daß er auf das für Menschen nicht wahrnehmbare Vorbeben ansprechen könnte. So ließen sich vielleicht Geräte zur Erdbebenvoraussage ebenso entwickeln, wie dies z.B. sowjetischen Biotechnikern für die Sturmwarnung mit dem sog. „*Medusenbarometer*“ gelungen ist. Es baut darauf auf, daß manche Quallen auf Frequenzen von Infraschall ansprechen, die bei sturmgepeitschten Wellen auftreten und dann in die Tiefe gehen. Eine Vorwarnung von mehreren Stunden ist dadurch möglich.

Eine Orientierungstechnik gibt es nicht nur im Tier-, sondern auch im *Pflanzenreich*. Sie wird durch *Bewegungsreize* bewirkt. Dazu gehört z.B. die Fähigkeit, die Blätter nach der günstigsten Sonneneinstrahlung auszurichten, bei Berührung sehr schnelle Bewegungen auszuführen, wie z.B. das rasche Zusammenklappen der Blätter der Mimose, das gewaltsame Ausschleudern von Samen (Springkraut, Spritzgurke usw.) wie auch die überschnelle Reaktion fleischfressender Pflanzen, wenn sie von einem Insekt berührt werden.

Für alle diese Bewegungen ist das gleiche Prinzip maßgebend wie für die *hydraulische Maschinenteknik*. Diese Pflanzen arbeiten mit dem Flüssigkeitsdruck in der Zelle. Es wird dabei die Neigung von Salzen ausgenützt, Wasser anzuziehen und sich darin aufzulösen. Durch Verdünnung der Lösung entsteht Überdruck, durch Konzentration Unterdruck. Die Regelung erfolgt durch eine Membrane.

Technisch kaum zu überbieten ist die *Klettertechnik* mancher Pflanzen. Beim *Kürbis* bildet sich ein Greiffaden, der im Uhrzeigersinn kreist. Findet er eine Stütze, umwindet er sie in wenigen Sekunden. Um die Verbindung elastisch zu gestalten, wickelt sich die Ranke wie eine Schraubenfeder auf. Sie spürt übrigens sogleich, wo sie sich festhalten kann und wo nicht. Durch Versuche wurde festgestellt, daß z.B. Glasstäbe nicht angefaßt werden. Läßt man sie eine geeignete Stütze nur kurz berühren und nimmt sie dann weg, so reagiert sie spontan mit einer Krümmung, stellt sich dann gerade und sucht weiter. Ist ihr Suchen vergeblich, so verkümmert sie. Gelingt es ihr einen Halt zu finden, so wird sie zunehmend stärker und verholzt schließlich. Es gibt bei Kletterpflanzen die verschiedensten Arten von Klettertechniken. Erwähnt sei z.B. der *Efeu*. Er bildet holzige *Sprossranken*. dies geschieht dadurch, daß kurze nur Millimeter lange *Haftwurzeln* mit Hilfe von Wurzelhaaren die erste Verbindung mit der Unterlage (Stütze) aufnehmen. Diese Haftwurzeln sind in ihrer ganzen Anlage wie gewöhnliche Wurzeln, nur daß sie in ihrer Längen- und Dickenwirkung zurückgeblieben sind („gehemmte Erdwurzeln“).

Anderweitige Techniken

Aus der übergroßen Vielfalt der von der Natur angewendeten Techniken soll noch auf einige wenige besonders markante Beispiele hingewiesen werden.

Eine *Technik der Abwehr* entwickelte der Bombardierkäfer (*Brachynus*). Wenn er sich bedroht fühlt, stößt er aus den Analdrüsen explosionsartig ein Sekret aus, das sich unter puffenden Geräuschen in ein bläulich-weißes Gas verwandelt und wie eine chemische Waffe auf den Gegner wirkt. Wer denkt da nicht an militärische chemische Verteidigungswaffen?

Kakteen, die in den heißen Steppen Mexikos großer Trockenheit ausgesetzt sind, holen sich Wasser aus der Luft. Ihre Dornen laden sie im vorüberstreichenden Wind elektrisch auf, ziehen die in der Luft schwebenden winzigen Wasserteilchen an und veranlassen sie zu Kondensation. Durch die Zellwände wandert dann das Naß in den Pflanzenkörper. Dasselbe Prinzip findet Anwendung in der *elektrostatischen Lackiertechnik*. Dort werden Farbpartikelchen von der Spritzpistole elektrisch aufgeladen und dadurch vom Werkstück magnetisch angezogen.

In neuester Zeit macht in der Biotechnik die *Seifenblase* von sich reden, deren geometrische Eigenschaften die Wissenschaftler schon seit Jahrhunderten zu ergründen versuchten. Man kann sie bezeichnen als Oberfläche einer Flüssigkeit, die eine elastische fast gummiartige Schicht bildet, da sich die Moleküle gegenseitig mit einer gewissen Kraft anziehen, die man Oberflächenspannung nennt. Ihre Seifen-Wasser-Schicht ist oft weniger als ein Tausendstelmillimeter dünn und damit ungefähr so groß, wie die Wellenlänge des Lichts (S. HILDEBRANDT). Die dünne Haut, die Gase oder Flüssigkeiten umspannt, wird Pneu genannt. Dieses Pneuprinzip findet in der Architektur und Bautechnik Anwendung, z. B. beim Bau von Traglufthallen (Gewichtersparnis gegenüber Massivbauten bis zu 99 %), Luftkissen- und Luftschlauchtragwerken, Schwimmkörpern, Bereifung udgl.

Darüber hinaus bemühen sich Physiker, Mathematiker, Architekten, Vermessungs- und Welt-raumingnieure um dieses dünnhäutige ehemalige Kinderspiel. Als dünne Häute aufgespannt zwischen Drahtrahmen und Glasplatten liefert die Seifenlösung eine Vielzahl von Vorbildern für vielfältige Konstruktionen und Entwürfen, angefangen von der Bautechnik bis zu Flugverbindungen, Straßensystemen, Telefonnetzen usw. Sparsamkeit ist dabei das oberste Prinzip.

Aus der Beleuchtungstechnik ist bekannt, daß künstliches Licht viel Wärme erzeugt und deshalb ein sehr schlechter Energieverwerter ist (Energieverlust z. B. bei Glühlampen bis zu 95 %). Es ist daher nicht verwunderlich daß sich die Forschung eingehend mit der Untersuchung des sog. *kalten Lichts* befaßt, wie es bei Leuchtkäfern, Leuchtischen der Tiefsee und bei Leuchtmoosen zu beobachten ist. So eine leuchtende elementare Energiezelle besteht aus zwei Molekülen, nämlich dem Speicher *Luciferin* und dem Katalysator *Luciferase*. Wird er aufgebrochen, wird das durch einen Lichtblitz sichtbar. Dieses kalte Licht als Lichtquelle für den Menschen nutzbar zu machen, ist bis jetzt noch ein Wunschtraum der Wissenschaft.

Bioenergetik

Bioenergie ist die Energie aus *Biomasse*, die aus lebender und toter organischen Substanz gewonnen wird. Im Vordergrund stehen dabei die grünen Pflanzen. Sie bauen mit Hilfe des Sonnenlichts aus Kohlendioxyd (CO₂) und Wasser (H₂O), sowie anorganischen Salzen aus dem Boden, organische Verbindungen auf und legen dabei die Lichtenergie als chemische Energie fest, wobei Sauerstoff (O₂), sozusagen als Abfallprodukt, frei wird (*Photosynthese*). Die Blätter der höheren Pflanzen wirken dabei wie Sonnenkollektoren in denen in den Chloroplasten (Zellorgane die Blattgrün enthalten) Sonnenenergie in Biomasse umgewandelt wird.

Das Sonnenlicht ist die gewaltigste, von Menschen aber am schlechtesten genützte Energiequelle. Sie liefert an Energie das Zehnfache des heutigen Weltenergieverbrauchs. Es wird aber nur 1/10 % der einfallenden Sonnenstrahlen in Biomasse umgewandelt und davon dient wiederum nur ein kleiner Teil der menschlichen Ernährung.

Die durch die Bevölkerungszunahme, den erhöhten Lebensstandard und das wirtschaftliche Wachstum entstandene Energiekrise hat dazu geführt, daß die Nutzung der Sonnenenergie und der Biomasse als Ersatz für die in naher Zukunft versiegenden fossilen Energiequellen in der ganzen Welt eingehend studiert wird.

Dazu einige Beispiele:

Was die Energiegewinnung aus der Biomasse anbetrifft, so stand der *Wald* an vorderster Stelle. Sein Holz deckte 10–15 % des weltweiten Energieverbrauchs. Heute arbeitet man an der Steigerung der Biomasseproduktion. Zur Gewinnung von flüssigen und gasförmigen Treibstoff legt man in verschiedenen Staaten Kulturen von Biomasse, sogenannte *Energieplantagen* an. Dabei werden Pflanzen verwendet, die sich durch Stecklinge vermehren lassen, rasch wachsen und die sich durch eine hohe Ausbeute bei der Umwandlung der Sonnenenergie in Biomasse auszeichnen, die dann wiederum in Wärme, Elektrizität, Äthanol, Methanol oder Methan umgewandelt werden kann. Pflanzen die direkt Kohlenwasserstoffe, also ölhaltige Substanzen produzieren, können sowohl als Rohstoffe zur Herstellung von Treibstoffen, wie auch für chemische Synthesen verwendet werden.

In der Land- und Forstwirtschaft stehen *Abfälle aller Art* zu Gewinnung von Bioenergie zur Verfügung. Finnland deckt bereits 14 % seines Energieverbrauchs aus Abfällen. Die großen Schilfflächen der skandinavischen Gewässer liefern zudem als weiterverarbeitetes Schilfpulver ein billiges Heizmaterial und die in ungeheuren Mengen vorkommenden Wasserhyazinthen werden zur Herstellung von *Biogas* verwendet. Überhaupt ist die Ausbeute an Biomasse bei höheren Wasserpflanzen und Algen besonders groß. So hat man z. B. mit Meeresalgen und zwar mit einer ungewöhnlich raschwüchsigen Art von Braunalgen, die in Nordamerika in großen Mengen vorkommt, sehr günstige Erfahrungen gemacht.

In Österreich gewinnt man aus überfälligen Stock- und Wurzelholz durch Destillation Holzkohle und ein brennbares Gas.

In einer Kleinstadt nördlich von Wien verarbeitet ein Betrieb jährlich 20 000 Tonnen Kartoffeln zu Pommes frites und Chips. Die große Menge von Abfällen und Abwässer und die dabei auftretende Geruchsbelästigung wurde durch eine Abwasserreinigungs- und Biogasanlage mit einem strohbeheizten Dampfkessel beseitigt und gleichzeitig der Gesamtenergiebedarf des Werkes um 70 % (900 000 Liter Heizöl pro Jahr) verringert.

Bei der Umwandlung der Biomassen in andere Energieträger kommen zwei Technologien in Frage, nämlich die *thermochemische* und die *biochemische* Umwandlung. Bei den thermochemischen Umwandlungen ist die Verbrennung die älteste Methode. Neuerdings gewinnt man wieder ein gasförmiges Brennstoffgemisch durch Vergasung von Holz. Durch *Pyrolyse* wird Biomasse in teer- und ölhaltige Brennstoffe zersetzt. Zu den biochemischen Umwandlungsprozessen zählen die *Fermentationen* zu Äthanol und Methan (Biogas).

Ein anderer Weg das Sonnenlicht als Energiequelle zu nutzen, ist der Weg über die *biologische Wasserstoffproduktion*.

Schon vor über hundert Jahren schrieb der französische Schriftsteller JULES VERNE, der Meister phantastisch-naturwissenschaftlicher Jugendbücher, in seinem Roman „Die geheimnisvolle Insel“, daß Wasser eines Tages als Brennstoff dienen wird, daß Wasserstoff und Sauerstoff aus denen es besteht, entweder zusammen oder getrennt verwendet, eine unerschöpfliche Quelle und von größerer Kraft sein werde, als Kohle sie besitzt. Er sollte recht behalten.

Mit Wasserstoff könnten alle Energiesorgen behoben werden. Als äußerst umweltfreundlich, würde er sich als Treib- und Brennstoff, wie als universeller Energieträger für die moderne Technik eignen.

Algen und *photosynthetische Bakterien* können das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen. Techniker aller Welt, vor allem in Amerika, Rußland, Japan und Indien versuchen auf verschiedenen Wegen diesen Prozeß technisch nachzuvollziehen. In neuester Zeit ist es Chemikern der Universität Illinois gelungen einen Stoffkomplex zusammenzubauen, der genau wie pflanzliches Chlorophyll einfallendes Licht in chemische Energie umwandeln und speichern kann.

Heute wird Wasserstoff großtechnisch durch thermische Zersetzung von Wasserdampf erzeugt. Bei Temperaturen von 700–900 Grad und in Gegenwart eines Katalysators verbindet sich der Sauerstoff des Wassers mit dem Kohlenstoff des Kohlenwasserstoffes und übrig bleibt von beiden Partnern der Wasserstoff.

Wasserstoff ist der leichteste und sauberste aller Brennstoffe. Es gibt keine Umweltschäden und keine Abfallprodukte, dabei enthält er dreimal soviel Energie wie Erdgas und doppelt soviel wie Benzin. Das Verbrennungsprodukt Wasserdampf kehrt sofort in den Wasserkreislauf zurück. Wasserstoff ist deshalb eine sich ständig erneuernde Energieform. Als Energieträger ist er allerdings noch zu teuer. Das würde sich ändern, wenn der Wasserstoff mit Hilfe von *Solarstrom* erzeugt werden kann. Eine künftige *Wasserstofftechnologie* könnte dann fast alle Energieprobleme lösen.

Vor 2200 Jahren setzte ARCHIMEDES, der bedeutendste Mathematiker der Antike bei der Verteidigung der sizilianischen Stadt Syrakus mit einer Batterie von *Brennspiegeln* die angreifende Flotte des Konsuls MACELLUS in Brand. Heute steht in Sizilien in Adrano am Fuße des Ätna das *erste Solarkraftwerk* mit dem Namen „EURELIOS“, das Elektrizität an ein regionales Versorgungsnetz liefert. Dieses Kraftwerk der Europäischen Gemeinschaft arbeitet ebenfalls mit *Brennspiegeln*. Diese konzentrieren die Sonnenstrahlen auf einen Absorber der auf einen Turm montiert ist (sog. „*Turmkonzept*“). Das in vielen Röhren im Absorber befindliche Wasser verdampft und dieser Dampf (Temperatur 512 Grad Celsius) betreibt eine Turbine, die wiederum einen Wechselstromgenerator dreht, der den Strom liefert.

Andere Solarkraftwerke arbeiten nach dem „*Farmkonzept*“. Hier sind die Spiegel über eine größere Grundfläche verteilt mit dezentralisierten Absorbern. Wärmemedien sind Wasser und organische Stoffe. Außerdem gibt es noch eine große Zahl „*photovoltaische Systeme*“ (Solarzellen-Systeme). Hier wandelt man Sonnenlicht mit Hilfe des photovoltaischen Effektes (vergleichbar mit dem Funktionieren des Belichtungsmessers in einer Photokamera) direkt in elektrischen Strom um.

Biokybernetik

Die Wissenschaftsdisziplin der Kybernetik wurde von NORBERT WIENER (1894–1964) begründet. Sein grundlegendes Werk „*Cybernetics*“ erschien 1948. Der Begriff „Kybernetik“ leitet sich vom griechischen „*kybernetes*“ = Steuermann her und soll zum Ausdruck bringen, daß sich diese Wissenschaft mit Steuerungs- und Regeltechnik befaßt. Ihre Grundlagen in Biologie und Technik wurden hier erstmals klar formuliert.

Es ist bekannt, daß in den meisten technischen Geräten des Alltags automatische technische Regler eingebaut sind, die bestimmte Werte, die von außen eingegeben werden, konstanthalten, wie z. B. die Temperatur in Kühlschränken, Waschmaschinen, Radiatoren udgl. Dies besorgen sogenannte *Thermostaten*. Genauso kann man Ablaufgeschwindigkeiten, Drehzahlen, Frequenzen, Druckverhältnisse und vieles andere mehr, in ähnlicher Weise regeln.

In der Natur gibt es biologische Regler schon seit Jahrmillionen. Sie wurden aber erst in unserem Jahrhundert erkannt.

So wurde z. B. das Prinzip des *Regelkreises für biologische Prozesse* erstmals von R. WAGNER 1925 entdeckt. Besonders bekannt geworden sind seine Untersuchungen über den *Blutdruckregelkreis*.

In den Wandungen der Blutgefäße befinden sich Nervenfühler, die auf Gefäßwandspannungen reagieren. sie werden je nach den Blutdruckverhältnissen stärker oder schwächer erregt und leiten diese Erregung in das oberste Gefäßnervenzentrum, jenem Ausläufer des Gehirns als Verbindung zum Rückenmark (*Medulla oblongata*). Ein Steigen der Erregung in jenen Nervenführern führt zu einer Herabsetzung der Erregung im Gefäßnervenzentrum, ein Sinken der Erregung im Nerv zu einer Erregungssteigerung im Zentrum. Diese zentrale Erregung wird über Gefäßnervenbahnen zu den Muskelfasern der peripheren Blutgefäße geleitet. Erregungszunahme im Zentrum bedeutet Verengung, Erregungsabnahme Erweiterung der peripheren Blutgefäße. Steigt der Druck in der Aorta, so werden die äußeren Blutgefäße erweitert, sie neh-

men mehr Blut auf und der Blutdruck sinkt und umgekehrt. Es ist somit ein *geschlossenes System* im Sinne eines Regelkreises vorhanden. Eine solche Selbstregulation bezeichnet man als *negative Rückkopplung*.

Es gibt eine große Menge solcher Regelungssysteme die den Organismus in Ordnung halten, so z.B. die Regulierung des *Blutzuckerspiegels* oder der Regelkreis des *Warmblüterorganismus*. Hier steuern in wechselnden thermischen Situationen mannigfaltige regulierende Mechanismen (gewissermaßen Thermostate) die Bildung und das Abgeben von Wärme derart, daß der genetisch festgelegte Sollbereich der Körpertemperatur möglichst nicht verlassen wird.

Als Musterbeispiel eines kybernetischen Regelkreises gilt auch das *Wirbeltierauge* und seine natürliche Blendvorrichtung. Lichtquanten reizen hier Rezeptoren, die die optische Information über den Sehnerv in das Sehzentrum des Gehirns leiten, wo das Bild wieder zusammengesetzt und ausgewertet wird. Verändert sich die Beleuchtungsstärke, wirkt die Pupille als Blendschutz. Als Meßfühler wirken die lichtempfindlichen Rezeptoren der Netzhaut. Sie melden jede Abweichung der Beleuchtungsstärke an den Regler im Mittelhirn, der dann der Iris Muskulatur den Befehl gibt, dieser Abweichung entgegenzuwirken. Die Pupille wird dann verengt oder erweitert.

Die Einsicht, daß die Kybernetik ein Bindeglied zwischen biologischen und technischen Disziplinen darstellt, verändert allgemein unsere Sicht der Dinge. Dazu ein kurzer Hinweis:

Es ist bekannt, daß bei technischen Reglern der Istwert immer um kleine Beträge gegenüber dem Sollwert schwankt. Treten nun durch eine solche „*negative Rückkopplung*“ zu starke Schwankungen auf, so kann das zu Schwingungen führen, die immer größer werden. WIENER argumentierte nun: Wenn solche Entartungen schon bei einem technischen Gerät auftreten, müßte das auch für lebende Systeme gelten, dann müßte es auch Krankheiten geben, die z.B. einen gezielten Ablauf in ein unregelmäßiges Hin und Her entarten lassen. Er ging deshalb zu einem Psychiater und erkundigte sich, ob ein solches Krankheitsbild vorkäme. Er erhielt die Auskunft, daß die vorhergesagten Krankheiten dem sogenannten *Intensionstremor* entsprächen, eine Krankheit, bei der ein sonst ruhiger Patient zu zittern anfängt, sobald er eine gezielte Bewegung macht. Der Intensionstremor gab den gesuchten Hinweis von Regelvorgängen mit negativer Rückkopplung im menschlichen Organismus.

Die großen Fortschritte der Sinnes- und Nervenphysiologie der letzten Jahrzehnte gehen unmittelbar auf den fruchtbaren Dialog zwischen Biologie und Kybernetik zurück (WOLFGANG WIESER). Das menschliche Gehirn nimmt derzeit einen zentralen Platz in der biotechnischen Forschung ein, besonders was seine Informationsverarbeitungs- und Informationsspeicherprozesse anbetrifft.

Man versucht durch elektrische und pneumatische Modelle Nervenzellen nachzubilden und dabei Bauelemente für Computer und Steuerungssysteme zu gewinnen. Über das Studium des Lernvorganges beim Menschen kam man zur Schaffung einer „*künstlichen Intelligenz*“, indem man mit Hilfe technischer Konstruktionen die Funktionsweise der Teilsysteme des menschlichen Gehirns, die mit Denken zusammenhängen, nachzuahmen versucht (elektro-

nische Digitalcomputer). Weitere Entwicklungen führten z. B. zu Diagnoseautomaten, Übersetzungsautomaten und anderes mehr.

In der *Medizin* hat man ausgehend von der Kybernetik immer mehr versucht, menschliche Organe zeitweise oder dauernd durch Maschinen zu ersetzen. Erinnert sei an den extrakorporalen Kreislauf (Herz-Lungen-Maschine von JOHN GIBBSON 1952), künstliche Schrittmacher, künstliche Organe wie Herz, Niere, sowie Sprech-, Hör-, Seh- und Gehhilfen udgl. Was die allgemeine Gesundheit anbetrifft, so steht auch hier der Mensch im Kreis der Kybernetik, die viele medizinische Fragen in einem neuen Licht erscheinen läßt (VESTER, Neuland des Denkens).

Evolutionstrategie

Alle Lebewesen entwickeln sich in einem Wechselspiel von *Mutation* und *Selektion*. Mutation sind sprunghafte erbliche Abweichungen einzelner Eigenschaften der Nachkommen von denen der Vorfahren. Selektion (Auslese, Zuchtwahl) ist zunächst die Einwirkung der gesamten lebenden und toten Umwelt auf das Lebewesen.

Will der Techniker die Evolution nachahmen, so muß er sowohl die Mutation, wie die Selektion nachvollziehen. Das ist geschehen. Hier ein besonderes interessantes Beispiel:

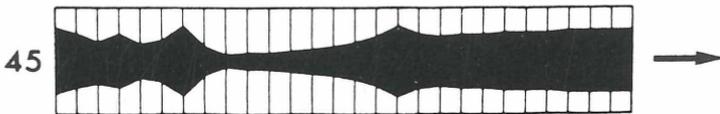
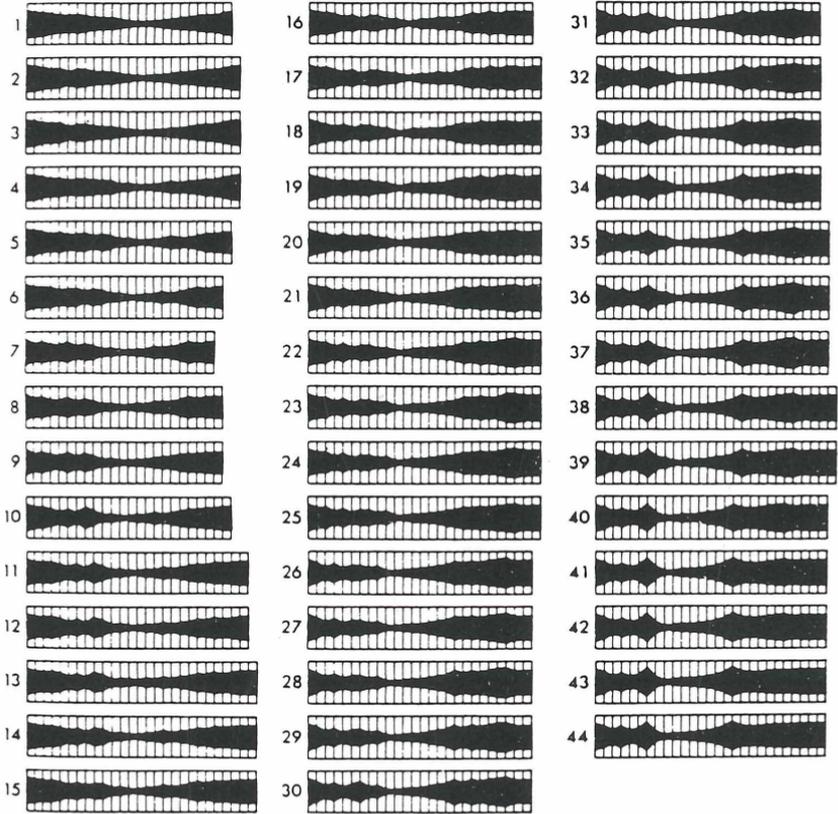
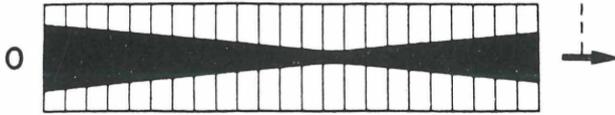
Die AEG entwickelte ein Kleinkraftwerk für die Raumfahrt. Durch die Hitze die dieses kleine Kernkraftwerk liefert, wird Kalium verflüssigt und durch ein elektromagnetisches Feld geleitet. Dadurch wird elektrischer Strom erzeugt, der die Geräte der Raumsonde treibt. Um das verflüssigte Kalium besonders rasch beschleunigen zu können, bedarf es einer *Düse*. Die Strömungsvorgänge die dabei auftreten, sind äußerst komplex. Man kann sie nicht berechnen, darum läßt sich auch eine Idealform der Düse rechnerisch nicht erfassen.

Ein Techniker (H. P. SCHWEFEL) kam auf die Idee, hier eine „*Evolutionstrategie*“ anzuwenden. Er setzte die Düse aus 27 Segmenten mit jeweils verschieden großen Innenbohrungen zusammen, wobei die Segmente beliebig ausgewechselt werden konnten. Insgesamt standen 330 Segmente mit günstig abgestuften Bohrungen zur Verfügung. Dadurch ließ sich eine riesenhafte Zahl von Düsenformen zusammenstellen.

Nach einem speziellen Rechenprogramm wurden nun durch Austausch einzelner Segmente *zufällige* Veränderungen in der Düsenkontur hervorgerufen (*Mutation*). Diejenigen mit *besonderen* Ausströmungsgeschwindigkeiten wurden als Ausgangsmodell für weitere Experimente beibehalten (*Selektion*). Die anderen wurden ausgesondert. Die 45. Form blieb als Idealform (s. Graphik).

Bisher war ein Physiker nötig, um solche Experimente durchzuführen. PETER BIENERT entwickelte aber bereits einen Experimentierautomaten für solche Zwecke. Heute werden solche Optimierungsschritte im Computer simuliert. Auf diese Weise hat man Brückenkonstruktionen, Tragflügelprofile udgl. entwickelt, die in der Form von den bisher berechneten abweichen und einen geringeren Materialverbrauch haben.

Strömungsrichtung



„Evolution“ einer Zweiphasen-Überschalldüse. Oben (groß): einfache Ausgangsform O. Unten (groß): Optimalform 45. Dazwischen (kleiner) Übergangsformen 1-44.

Aus Werner Nachtigall, Phantasie der Schöpfung.

Gentechnologie

Jedes Lebewesen enthält für jedes Merkmal zwei Anlagen. Man nennt sie *Gene* (griechisch *gignestai* = werden). So ein Genpaar findet sich in allen Zellen eines Lebewesens. Ausgenommen sind die Keimzellen, die Ei- und Samenzellen der Tiere, sowie Pollenkorn und Eizellen der höheren Pflanzen. Sie enthalten nur je ein Gen. Die Gene sitzen auf den *Chromosomen*. Das sind jene kleinen länglichen Gebilde, die sich bilden, wenn sich die Zelle zu teilen beginnt und die durch bestimmte Farbstoffe gefärbt werden können und dann unter den Mikroskop sichtbar sind. Nun weiß man schon lange, daß diese Chromosomen besonders reich an *Nucleoproteiden* sind. Das sind Verbindungen in denen das Eiweiß mit komplizierten chemischen Bausteinen verknüpft ist, z. B. mit der sogenannten *Desoxyribonucleinsäure (DNS)*, mit der wir uns hauptsächlich zu beschäftigen haben. Sie ist der materielle Träger der Erbinformation in den Chromosomen. Das DNS-Molekül ist zwar unter den Molekülen eines der größten, absolut gesehen aber winzig klein und mit dem bloßen Auge nicht sichtbar.

Die englischen Professoren I. D. WATSON und F. CRICK veröffentlichten 1953 ein Modell der DNS, für dessen Aufstellung sie 1962 den Nobelpreis erhielten. Mit dieser wissenschaftlichen Entdeckung beginnt das Zeitalter der Gentechnologie, die sich zur Aufgabe gemacht hat, Lebewesen zum Nutzen des Menschen genetisch zu verändern. Die ganze Materie ist aber so vielfältig und kompliziert, daß in diesem Rahmen nur durch einige Beispiele ein kleiner Einblick gegeben werden kann, im übrigen aber auf die Fachliteratur verwiesen werden muß.

Als in den fünfziger Jahren die Nahrungsmittel in vielen Ländern immer knapper wurden, sollte eine „grüne Revolution“ den Hunger besiegen. Das ist zwar zum Teil gelungen, die negativen Auswirkungen infolge von hemmungslosem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, Unkrautvernichter, Monokulturen etc. haben aber Ausmaße angenommen, die nicht mehr vertreten werden können. Hier soll nun die Gentechnik Abhilfe schaffen. Sie macht es möglich, Gene (Träger der Erbanlagen) auch zwischen *nicht verwandten Pflanzen* auszutauschen. Die genetisch veränderten Nutzpflanzen sollen dann gegen die verschiedensten Schäden resistent sein. Den Trick, wie man Nutzpflanzen genetisch verändern kann, haben Wissenschaftler der Natur abgeschaut. Dabei ist ihnen ein Bakterium namens *Agrobacterium tumefaciens* zu Hilfe gekommen, das in unseren Böden lebt. Es befällt zwischen Sproß und Wurzel verletzte Pflanzen und treibt mit ihnen eine regelrechte „genetische Kolonisation“. Dabei werden Erbanlagen in die befallene Pflanze eingeschleust, mit der Folge, daß sich die Zellen sehr schnell teilen und für die Bakterien draußen einen Nährstoff produzieren. An der infizierten Stelle wachsen kurz über dem Boden knotige „*Wurzelhalsgallen*“.

Als die Biologen diese Vorgänge durchschauten, kamen sie auf den Gedanken, daß diese Art der Übertragung fremden Erbgutes einen Weg erschließen könnte, Nutzpflanzen gezielt mit nützlichen „artfremden“ Eigenschaften auszustatten, wobei im Vordergrund der Nutzenanwendung die Übertragung höherer Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten und die bessere Anpassung der Eiweißstoffe von Kulturpflanzen an den menschlichen Bedarf stand. Für die Züchtung solcher neuer Pflanzensorten haben sich 23 europäische Länder entschlossen *Genbanken* anzulegen, deren Pflanzensammlungen ausgetauscht und Wissenschaftlern für Züchtungszwecke zur Verfügung gestellt werden sollen.

In Laborversuchen ist es inzwischen gelungen einer *Bodenmikrobe* ein Gen einzusetzen, das für die Produktion eines insektiziden Wirkstoffes zuständig ist. Die Wissenschaftler wollen herausfinden, ob auf diesem Weg die Zahl wurzelfressender Schadinsekten in Nutzpflanzenfeldern niedrig gehalten werden kann.

Gene können auch Wunden reparieren. Es ist bekannt, daß durch das energiereiche Ultraviolett der Sonne schwere Hautschäden entstehen können. Berechnungen haben nun ergeben, daß solche Störungen viel häufiger auftreten müßten, als man sie wirklich findet. Man vermutete deshalb, daß die Schäden größtenteils von der Zelle repariert wurden und zwar mittels der sog. *Exzisionsreparatur* (Exzision = Auscheidung) ist nämlich ein NSD-Strang in Mitleidenschaft gezogen worden, dann schneidet ihn ein besonderes Enzym (Endonuclease) kurz vor der „Mißbildung“ entzwei. Ein besonderes Enzym (Exonuclease) zwickt den Strang dahinter durch, sodaß das „fehlerhafte Werkstück“ herausfällt. Die übrigbleibende Lücke wird durch ein weiteres Enzym (Polymerase), das die fehlenden NDS-Bausteine ergänzt, beseitigt. Zuletzt sorgt wieder ein Enzym (Ligase) für die Verknüpfung des neuen Teilstücks mit dem alten. Die NDS weist nun den gleichen Bau auf wie vor dem Schaden.

Nun noch ein letztes Beispiel einer Genübertragung. Hier waren weiße Mäuse in einem amerikanischen Forschungsinstitut die Vorreiter einer wissenschaftlichen Entdeckung. Die Mäuse hatten alle Eigenschaften von weißen Labormäusen, ausgenommen ihre Größe. Sie hatten die Größe einer Ratte. Zoologen hatten das Gen für Ratten-Wachstumshormon in den Kern einer Mauseizelle gespritzt.

Nun drängt sich die Frage auf, inwieweit *genetische Manipulation am Menschen* möglich sind und mit welchen Folgen gerechnet werden muß. Man kann im Reagenzglas die frühesten Entwicklungsstufen eines Embryos erzeugen. Setzt man diesem DNS oder im Labor veränderte Zellen ein und verpflanzt ihn anschließend in die Gebärmutter, besteht die Möglichkeit, genetische Veränderungen in den meisten Körper- und Keimzellen hervorzurufen. Diese Veränderungen würden an die folgenden Generationen weitergeben.

Wenn wir von nichtvorhersehbaren Unglücksfällen (Laborunfällen mit Freisetzung von Krankheitserregern) einmal absehen, so schließt die DNS-Neukombinationstechnik eine andere Gefahr in sich, nämlich die *Irreversibilität* der erzeugten Organismen und bei deren Einsatz, ihre *unwiderrufliche* sozioökonomische Integration, ohne Rücksicht auf Nebeneffekte. Am Horizont zeichnet sich eine neue Form der Umweltverschmutzung ab, nämlich die von Wissenschaftlern selbst erzeugten Mikrobenstämme. „Im Juli 1974 haben elf führende amerikanische Molikularbiologen vor möglichen Biogefahren ihrer Forschung gewarnt. Seitdem fürchten wir uns vor *Seuchen*. Die amerikanischen Biologen halten das Seuchenproblem für gelöst, die Öffentlichkeit aber zweifelt“ (Herbig). Tatsächlich sind Krankheitserreger dort längst aus dem Labor entwichen und können Infektionsherde schaffen.

Dazu werden eine Vielzahl moralischer und gesellschaftlicher *Konflikte* heraufbeschworen. Von den rechtlichen Problemen, die verschiedene Maßnahmen der Gentechnologie aufwerfen, ganz zu schweigen.

Außerdem liegt die Gefahr eines „genetischen Wetttrüstens“ einer ungezügelter Konkurrenz zwischen Forschern verschiedener Länder oder ideologischen Blöcken nicht so fern, wie es die Befürworter einer totalen Forschungsfreiheit hinstellen (G. HAAF).

Inwieweit die von Heisenberg für die Mikrophysik erkannte „Unbestimmtheitsrelation“ auch für den biologischen Mikrobereich gilt, mag dahingestellt bleiben. Jedenfalls manifestiert sich die Evolution im Bereich der Biologie als dynamischer Natur, der ständigen Umgestaltung und Veränderung aller Lebenserscheinungen in unendlicher Vielfaltigkeit. Alles Lebendige hat ein Dasein völliger Unbestimmbarkeit und alles Lebensgeschehens ist nicht umkehrbar. Genoperationen zur Programmierung der Menschen sind „Alpträume“.

*„Wem es gelingt, das Geheimnis der Sequenz
in den Folgeprozessen des genetischen
Geschehensmechanismus der Erbeigenschaften
zu lüften, der hat das Geheimnis des Lebens
beantwortet“.*

JAQUES MONOD

Mensch und Technik

Entwicklung und Konstruktion

Wie wir gesehen haben, beruht die Biotechnik auf *Entwicklung*, die menschliche Technik aber auf *Konstruktion*. Entwicklung bewährt sich schon während ihres Entstehens. Es gibt deshalb keine Fehlentwicklungen, wohl aber Fehlkonstruktionen, die oft katastrophale Folgen haben können. Das hängt damit zusammen, daß sich Entwicklungen immer an den *Umweltbedingungen orientieren* und deshalb nicht schneller fortschreiten können, als die Bedingungen selbst. Die Produkte der Entwicklung sind daher immer der Umwelt angepaßt.

Technische Konstruktionen lassen sich dagegen beschleunigen. Die schwersten und meist nicht mehr gutzumachende Folgen treten dann auf, wenn sie der *Umwelt vorausseilen* und dieser nicht mehr Zeit lassen, sich darauf einzustellen (Flüsse z.B. kippen dann durch Verschmutzung um).

Auch der Mensch ist ein biologischer Organismus und läßt sich nicht von heute auf morgen umkonstruieren. Moderne Konstruktionen schreiten aber schneller fort, als das Reifungsprinzip des Menschen. Es kann daher für ihn tödlich sein, wenn er rücksichtslos sich selbst zu überholen versucht. Daraus folgt, daß jeder weitere technische Fortschritt immer nur in ständiger Rückkoppelung mit der Umwelt vor sich zu gehen hätte und die *Anpassungsgeschwindigkeit* die natürliche Umwelt und den Menschen selbst *nicht überholen* dürfte, denn die Grenze seiner Anpassungsfähigkeit ist bereits erreicht.

War die Technik der Naturvölker und der Frühkulturen noch naturnah, so hat sie sich in den Hochkulturen immer mehr von der Naturgebundenheit gelöst und verselbständigt, bis zur heutigen „Maschinenkultur“ (O. SPENGLER), die die anorganischen Kräfte der Natur zur

Arbeit gezwungen und dadurch im westlichen Teil der Welt zunächst Wohlstand und Macht geschaffen hat, die aber mit der völligen Mechanisierung und Materialisierung der Welt und der totalen Veränderung des Bildes der Erde, deren Folgen kaum ausgedacht werden können, bezahlt werden mußten.

Der Historiker HANS FREYER drückt das so aus:

Es ist der blutige Ernst der analytischen Wissenschaften und der technischen Mittel des industriellen Zeitalters, daß sie gleichsam tief bohren in das Sein selbst hinein. Während die alten vorindustriellen Techniken die Natur stehen ließen wie sie war, sich nur ihrer Vorgaben bedienten, nur ihre ärgsten Widrigkeiten abwehrten und ihre großen Vorgänge im kleinen nachahmten, verändern sie heute die Erde bis in ihre Stofflichkeit, bis in ihren Kräftehaushalt und ihre Atmosphäre hinein. Sie zerlegen das Naturgegebene in abstrakte Elemente in die es sich von selbst nie zerlegen würde, und setzen die Elemente nach Zwecken, die sie souverän oktroyieren, konstruktiv zusammen. Sie unterbinden die natürlichen Kreisläufe und transformieren diese Prozesse, die nach Art von Kettenreaktionen ins Unabsehbare laufen. Das sind Veränderungen, die nicht zurückgenommen werden können. Sie sind bereits so reichlich in die natürliche Erde und dabei immer auch in den Menschen selbst eingesenkt worden, daß sie nicht wieder auszulöschen sind, es sei denn durch eine Katastrophe größten Ausmaßes.

Die zwei zuerst drohenden Gespenster der nahen Zukunft, beschleunigt durch die Bevölkerungsexplosion, sind *Energieknappheit und Rohstoffmangel* auf der einen, *Überfluß an Unrat und Umweltverschmutzung* auf der anderen Seite. Die beschleunigte Entwicklung der Biotechnik könnte hier zu einer Abhilfe wesentlich beitragen. In vielen Staaten wird daran gearbeitet und immer mehr Forschungsergebnisse, Unterlagen und Anregungen konnten in den letzten Jahren an die Industrie abgegeben werden. Aber auch immer größer werden die Bereiche in denen die Biotechnik bzw. Bionik eindringt. Unter der Bezeichnung Gestaltungsbionik, Energetobionik, Informationsbionik, Neuro- und Chemobionik haben sich neue Teildisziplinen entwickelt, denen in der Erforschung der gegenwärtigen und der noch zu lösenden Probleme immer größere und grundlegendere Bedeutung zukommt.

Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Man kann die Technik, die unser Zeitalter geprägt hat, nicht mehr rückgängig machen. Die Schäden aber, die sie der Biosphäre unserer Erde zugefügt hat, könnten durch die Weiterentwicklung der Biotechnik wenigstens soweit gemindert und positiv beeinflusst werden, daß es wieder zu einer „*Einpassung des Menschen in seine Umwelt* und auf einer höheren Ebene, zu einem Zustand eines *natürlichen Gleichgewichts* kommt“ (W. NACHTIGALL). Schließlich ist die Biotechnik die Technik des Überlebens und ein wesentlicher Teil eines Überlebensprogramms überhaupt.

Andere Maßnahmen allein genügen nicht, um die anstehenden Probleme lösen zu können. Es müßte dazu auch ein entsprechender Gesinnungswechsel eintreten, eine Abkehr von der „Kultur des Sichleichtmachens“ (HERMANN KEYSERLING) und des „Dick- und Fettwerdens“ (KONRAD LORENZ) und von der Gleichgültigkeit gegenüber allen Fragen die an unsere Existenz und an die der nachfolgenden Generationen rühren. Auch die bisherigen Denkschemata und Ideologien wären zu überprüfen. GEORG WILHELM FRIEDRICH HEGEL /1770–1831) lehrte, daß

der *Fortschritt* nicht nur ein Prinzip des Denkens, sondern des Weltgeschehens überhaupt sei. Dieser Glaube führte zu der Überzeugung, daß die Menschheit keine andere Aufgabe hat, als durch immer umfassendere *Naturbeherrschung und Technisierung* fortzuschreiten. Damit würde dann von selbst auch eine moralische Höherentwicklung von Mensch und Gesellschaft entstehen, was schließlich zur größtmöglichen Glückseligkeit der Menschheit führen müßte.

Dieser Glaube wurde nicht nur durch die beiden Weltkriege schwer erschüttert, sondern noch mehr durch die immer dunkler werdenden Schatten einer Übertechnisierung mit ihren lebensbedrohenden Schädigungen von Mensch und Natur. Eine kaum mehr zu überschaubare kritische Literatur aus den verschiedensten Wissensgebieten hat sich an den nicht mehr wegzuleugnenden zahlreichen Symptomen der Niedergangs entzündet.

Andererseits scheint sich aber doch eine Besinnung anzubahnen. Die Sehnsucht nach einer heilen Welt wird immer größer und die Initiativen gegen die Verwüstung der Natur immer häufiger und intensiver. Auch auf wissenschaftlichem Gebiet gibt es in dieser Hinsicht immer neue Erkenntnisse, wobei im Vordergrund die Biologie steht.

Angeregt durch den Umweltschutz, wird der Blick wieder auf das *übergeordnete Ganze* gelenkt. Zudem stieß man im Bereich des Lebendigen mit dem kausalistischen Denken und den damit zusammenhängenden analytischen Methoden zunehmend an die Grenzen der Erkenntnis. Besonders die Nebenwirkungen, die sich durch Eingriffe in das biologische Gleichgewicht der Natur abzeichnen, zeigen dies deutlich. Erst als LUDWIG V. BERTALANFFI seine Systemtheorie des Organischen entwickelte, als man die Bedeutung des Fließgleichgewichts erkannte, als NORBERT WIENER die Regelungs- und Steuerungsvorgänge in den Lebewesen verständlich machte und man erkannte, daß diese Vorgänge nicht nur für den einzelnen Organismus, sondern für das ganze Naturleben gelten und auch da nicht isoliert sind, sondern komplexe Systeme bilden, die wiederum miteinander „vernetzt“ (F. VESTER) und ineinander verschachtelt sind und weiterhin immer neue Erkenntnisse in der Molekularbiologie und in der Verhaltensforschung erarbeitet wurden, kam man dem Geheimnis des Lebens wieder näher.

Wenn es in Zukunft noch Überlebenschancen geben soll, so liegen hier die Ansatzpunkte zu einem Überlebensprogramm, zu dem die Biotechnik einen wesentlichen Teil beitragen kann.

Literatur:

- AUTRUM, H. Biologie – Entdeckung einer Ordnung, München 1970 dtv
- BACHOFEN, R. Bioenergie heute – morgen, Zürich 1981, Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Zürich
- BERTALANFFY, L. V. „Biologie und Weltbild“ aus M. Lohmann: Wohin führt die Biologie? Ein interdisziplinäres Kolloquium, München 1970 S. 133
- BOTSCH, W. Morsealphabet des Lebens, Stuttgart 1965 (Franckh)
- BEIER, W. u. GLAHS, G. Bionik eine Wissenschaft der Zukunft, Leipzig–Jena–Berlin 1968
- BRUEYER, R. Es war einmal ein Kinderspiel, Goe 1987 Nr. 5 S. 58
- DITFURTH, H. v. Zusammenhänge, Gedankengänge zu einem naturwissenschaftlichen Weltbild, Hamburg 1977 rororo TB
- FRANCÉ, R. H. Die Welt der Pflanzen, München 1962
Die Welt der Tiere, München 1962
Bios, die Gesetze der Welt, Leipzig 1926
- FRANKE, H. W. Testlabor Natur, Geo 1985 nr. 3 S. 70
- FRISCH, K. v. Tiere als Baumeister, Frankfurt 1974
- HAAE, G. Großangriff auf das Erbgut. Geo 1986 Nr. 11 S. 188
- HERBIG, J. Biotechnik, Genetische Überwachung und Manipulation des Lebens, Hamburg 1981 rororo aktuell TB
- HEYNERT, H. Einführung in die allgemeine Bionik, Berlin 1967
- HILDEBRANDT, S. u. TROMBA, A. „Panoptikum“, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg 1987
- KRAISMER, L. P. Bionik, eine neue Wissenschaft, Leipzig 1967
- LORENZ, K. Die acht Todsünden der zivilisierten Menschheit, München 1973
Vom Weltbild des Verhaltensforschers, München 1968
- MELCHERS, G. „Organismen – Mechanismen und allgemeine Biologie“ aus Lohmann: Wohin führt die Biologie? Ein interdisziplinäres Kolloquium, München 1970 S. 33
- MONOD, J. Zufall und Notwendigkeit, München 1975 dtv
- NACHTIGALL, W. Phantasie der Schöpfung, Hamburg 1974
Funktionen des Lebens, Hamburg 1977
- PATURI, F. Geniale Ingenieure der Natur, Düsseldorf 1974
- PORTMANN, A. Entläßt die Natur den Menschen? München 1970
An den Grenzen des Wissens, Frankfurt 1976 TB

- TIRALA, J. G. Massenpsychosen der Wissenschaft, Tübingen 1969 S. 125
- VESTER, F. Neuland des Denkens. Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter, Stuttgart 1980 dtv
- WALTER, H. Allgemeine Geobotanik, Stuttgart 1979
- WIENER, N. Mensch und Menschmaschine, Frankfurt 1958
- WIESER, W. „Molekulare Struktur – kybernetische Funktion“ aus M. Lohmann: Wohin führt die Biologie? Ein interdisziplinäres Kolloquium, München 1970 S. 85
Organismen, Strukturen, Maschinen, Frankfurt 1959
- ZISCHKA, A. Das Nach-Öl-Zeitalter, Düsseldorf u. Wien 1981

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Niederbayern](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [31](#)

Autor(en)/Author(s): Hüber Fritz

Artikel/Article: [Biotechnik 29-52](#)